

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

20.06.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 6 月 2 1 日
Date of Application:

REC'D 08 AUG 2003

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 1 8 1 8 2 1
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 2 - 1 8 1 8 2 1]

WIPO PCT

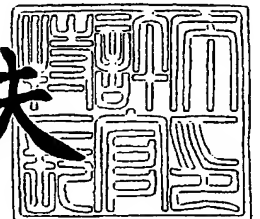
出 願 人 浜松ホトニクス株式会社
Applicant(s): 植田 憲一
 白川 晃

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 3 年 7 月 2 5 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



Best Available Copy

出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 5 9 0 5 8

【書類名】 特許願

【整理番号】 2002-0378

【特記事項】 特許法第30条第1項の規定の適用を受けようとする特許出願

【提出日】 平成14年 6月21日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/00

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都調布市小島町1-1-1 RC207

 【氏名】 白川 晃

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都調布市小島町1-1-1 RA310

 【氏名】 植田 憲一

【発明者】

 【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

 【氏名】 菅 博文

【発明者】

 【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

 【氏名】 宮島 博文

【特許出願人】

 【識別番号】 000236436

 【氏名又は名称】 浜松ホトニクス株式会社

【特許出願人】

 【識別番号】 598162023

 【氏名又は名称】 植田 憲一

【特許出願人】

【住所又は居所】 東京都調布市小島町 1-1-1 RC207

【氏名又は名称】 白川 晃

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ファイバレーザ装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 コア内のレーザ活性物質を励起光で励起してレーザ光を発生し、コア内にレーザ光を伝播して端部より出力するファイバレーザを複数本備えるファイバレーザ装置であって、

前記各ファイバレーザは、両端部においてレーザ光を反射する共振器構造を有し、

前記各ファイバレーザのコアの一部を近接し、任意のファイバレーザのコア内から出たレーザ光によって他のファイバレーザの共振器内で注入同期を行うことを特徴とするファイバレーザ装置。

【請求項 2】 前記各ファイバレーザは、コアの一部を細径化した構造を有し、

前記各コアの細径化部分を近接することを特徴とする請求項 1 に記載するファイバレーザ装置。

【請求項 3】 前記細径化部分及び前記近接部分を光ファイバカプラで構成することを特徴とする請求項 2 に記載するファイバレーザ装置。

【請求項 4】 前記複数本のファイバレーザのうち一本のファイバレーザ以外のファイバレーザのポート部に損失を与えることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか 1 項に記載するファイバレーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、複数本のファイバレーザを備えるファイバレーザ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

各種レーザに関する開発が盛んに行われており、レーザの中でも高出力でかつ空間コヒーレンスが高いレーザが望まれている。そのための一つ方法として、複数のレーザの出力をコヒーレント加算（結合）して高出力化する方法が知られて

あり、(c)は(b)のI-I線に沿った断面図である。

【0030】

光ファイバカプラ28は、2×2で分岐比50:50の光ファイバカプラであり、二本の光ファイバ22e, 23eのコア22a, 23aからレーザ光をしみ出させ、そのしみ出したレーザ光を他方のコア22a, 23a内で結合させる機能を有する。そのために、光ファイバカプラ28は、二本の光ファイバ22e, 23eの中間部22d, 23dを溶融して延伸し、その二本の光ファイバ22e, 23eのクラッド22f, 23f間を接合させた溶融延伸部28aを有する。溶融延伸部28aでは、光ファイバ22e, 23e(コア22a, 23a)が細径化し、コア22a, 23aが非常に近接して配置された状態となっている。

【0031】

光ファイバカプラ28では、溶融延伸部28aを石英系のサブストレーツ28b上に固定するとともにインバー28c, 28c及びシール材28d, 28dで形成する熱膨張係数の小さい空間内で封止している。

【0032】

また、ファイバレーザ装置21は、コヒーレント加算したレーザ光を一方のファイバレーザ22, 23から出力するために、他方の光ファイバ22e, 23eのポート部に損失を与えている。そのために、ファイバレーザ装置21では、一方の光ファイバ22e, 23eのポート部の曲げ損失を積極的に増加させるために、光ファイバ22e, 23eの一方のポート部に曲げ損失部29を設け、光ファイバ22e, 23eの一方のポート部の曲げ回数を多くして曲げ損失を強制的に増加している。図3では、光ファイバ23eのポート部の曲げ損失を増加しているので、ファイバレーザ22のポートAからコヒーレント加算したレーザ光が出力する。

【0033】

図5も参照して、ファイバレーザ装置21の作用について説明する。図5は、ファイバレーザ装置の出力スペクトルを示す図である。

【0034】

ファイバレーザ装置21では、各WDM結合器26, 27から各光ファイバ2

2 e, 23 eのコア22 a, 23 aに励起光を結合すると、コア22 a, 23 a内のエルビウムが励起状態となり、各共振器24, 25内を往き来する。そして、各共振器24, 25内でレーザ増幅を受け、各共振器24, 25内で異なる発振波長(1556.9 nmと1557.1 nm)のレーザ光を各々発生し、各レーザ光がコア22 a, 23 a内を伝播する。

【0035】

このとき、光ファイバカプラ28の溶融延伸部28 aでは、コア22 a, 23 aが細径化しているため、コア22 a, 23 aからレーザ光がしみ出す。また、一方の光ファイバ23 eには曲げ損失部29において曲げによる損失が与えられているので、光ファイバカプラ28の溶融延伸部28 aでは、コア23 aからしみ出したレーザ光が、近接して配置されているコア22 a内に引き込まれ、その引き込まれたレーザ光がコア22 aを伝播する。そして、その引き込まれたレーザ光が、共振器24内を往き来しているうちに、共振器24において発生してコア22 aを伝播しているレーザ光とコヒーレント結合し、位相が同期(注入同期)する。そして、このコヒーレント結合(加算)したレーザ光が、反射端面24 bを透過し、ポートAより出力する。

【0036】

ポートAから出力したコヒーレント加算されたレーザ光は、2.57 Wの出力値であり、各ファイバレーザ22, 23で独立して出力した場合(ポートA: 1.36 W、ポートB: 1.47 W)の2倍近い出力値である。また、図5に示すように、各ファイバレーザ22, 23から独立してレーザ光を出力する場合には各共振器24, 25の波長特性に応じて異なる出力スペクトルであるが、コヒーレント結合して出力する場合には各ファイバレーザ22, 23の各発振波長の中間波長である1557.05 nm付近でシングルピークを示す出力スペクトルとなる。ちなみに、コヒーレント結合時には、ポートBから出力されたレーザ光は、0.17 Wの出力値であり、ポートAからの出力スペクトルと同様に、中間波長である1557.05 nm付近でシングルピークを示す出力スペクトルとなる。この場合、コヒーレント加算の加算効率、91%であり、十分に実用可能な加算効率である。なお、図5は、横軸が波長(nm)、縦軸が光の出力(W/n

m) であり、実線がポート A からの出力スペクトル、破線がポート B からの出力スペクトルであり、太線がコヒーレント結合時の出力スペクトル、細線が各ファイバレーザ独立時の出力スペクトルである。

【0037】

図 6 及び図 7 を参照して、ファイバレーザ装置 21 における結合原理と印可する損失についてももう少し説明しておく。図 6 は、Y モードによる出力パターンを示す図であり、(a) はポート A から出力する場合であり、(b) はポート B から出力する場合である。図 7 は、ファイバレーザ装置においてポート A に印可する曲げ損失を変えた場合のポート A 及びポート B の出力の変化を示す図である。

【0038】

ファイバレーザ装置 21 では、二本のファイバレーザ 22, 23 が共振器長やファイバ伝搬定数が完全にバランスされている場合、スーパモード理論により、ポート A とポート B に等価な出力を持ち、相対位相のみが異なる 2 つのモードに対角化される。しかし、共振器長を異ならせる等のアンバランスな状態にした場合、図 6 に示すように、ファイバレーザ装置 21 では、引き込み効果等の影響により、一方のポートにのみ出力が集中し、各々のポート部を軸とする 2 つの Y モードに対角化される。つまり、2 つのポート A, B の損失をアンバランスにすることにより、2 つの Y モードの閾値に差を与えることができ、損失が少ないポートの Y モードが選択的に励振される。

【0039】

そこで、ファイバレーザ装置 21 では、2 つの Y モードの閾値に差を与えていずれかの Y モードを選択励振するために、一方のポート部の曲げ損失を強制的に大きくしている。図 7 は、横軸が曲げ損失 (%)、縦軸がポートからの出力 (W) であり、ポート B 側の曲げ損失が 9 % の場合にポート A 側の曲げ損失を変化させた場合のポート A 及びポート B の出力を示している。ポート A 側へ与える曲げ損失が 9 % より小さい場合、ファイバレーザ装置 21 では、ポート A からコヒーレント加算されたレーザ光が出力する。一方、ポート A 側へ与える曲げ損失が 9 % より大きい場合、ファイバレーザ装置 21 では、ポート B からコヒーレント加算されたレーザ光が出力する。また、ポート A 側へ与える曲げ損失が 9 % 程度の

場合、ファイバレーザ装置 21 では、ポート A 側とポート B 側では曲げ損失がほぼ等しくなり、ポート A 及びポート B から同程度のレーザ光が出力する。したがって、ファイバレーザ装置 21 では、光ファイバ 22 e, 23 e のポート部に損失を印可することにより、出力ポートのスイッチングを実現できる。

【0040】

また、ファイバレーザを利用してレーザ光をコヒーレント加算することによって高い加算効率を得られる理由についてももう少し説明しておく。ファイバレーザは、共振器長が 10 m 前後と長いために縦モード間隔が 10 MHz 程度に過ぎないので、注入同期における Locking Range とほぼ同等であり、ファイバレーザ間の縦モードの僅かな違いが補償される。そのため、マルチ縦モードのファイバレーザにかかわらず、高加算効率を実現できると考えられる。また、ファイバレーザの特長である横モードの完全な制御性、長共振器長による縦モード間隔の高密度性や高利得特性等が、従来にない高い加算効率を得るために寄与していると考えられる。

【0041】

このファイバレーザ装置 21 によれば、光ファイバカプラ 28 によってコア 22 a, 23 a を細径化するとともに近接して配置し、一方の光ファイバ 22 e, 23 e のポート部に損失を与えるだけの簡単な構成によりレーザ光のコヒーレント加算を実現でき、しかも、加算効率が非常に高い。また、このファイバレーザ装置 21 では、一方の光ファイバ 22 e, 23 e のポート部に損失を与えることによって、出力ポートのスイッチングを実現できる。さらに、このファイバレーザ装置 21 では、一方のコアからしみ出したレーザ光によって他方の共振器内で注入同期を行うので、位相結合するために精密な調整を必要としない。

【0042】

図 8 を参照して、コアの細径化及び近接を行う部分を一体型ファイバカプラで構成した場合のファイバレーザ装置 31 について説明する。図 8 は、コアの細径化及び近接を行う部分を一体型ファイバカプラで構成した場合の模式図である。

【0043】

ファイバレーザ装置 31 は、八本のファイバレーザ 32 ~ 39 を備えており、

八本のファイバレーザ 32～39 のレーザ光をコヒーレント加算した出力を一本のファイバレーザから出力することができる。そのために、ファイバレーザ装置 31 には光ファイバカプラ 40 が設けられており、この光ファイバカプラ 40 によって八本のファイバレーザ 32～39 間のレーザ光のコヒーレント結合を行っている。八本のファイバレーザ 32～39 は、上記したファイバレーザ 22, 23 と同様の構成を有するものとする。なお、各ファイバレーザ 32～39 のレーザ光の発振波長は異なっているとしてもよいが、各共振器の発振可能帯域は重なっていないなければならない。

【0044】

光ファイバカプラ 40 は、 8×8 で等分岐比の光ファイバカプラであり、八本の光ファイバ 32e～39e のコアからレーザ光をしみ出させ、そのしみ出したレーザ光を他のコア内で結合させる機能を有する。そのために、光ファイバカプラ 40 は、八本の光ファイバ 32e～39e を溶融して延伸し、その八本の光ファイバ 32e～39e のクラッド間を接合させた溶融延伸部を有する。溶融延伸部では、八本の光ファイバ 32e～39e (コア) が細径化し、八本のコアが非常に近接して配置された状態となっている。

【0045】

また、ファイバレーザ装置 31 は、コヒーレント加算したレーザ光を一本のファイバレーザから出力するために、他の七本の光ファイバに損失を与えている。図 8 の例では、ファイバレーザ 35 から出力するために、その他の七本の光ファイバ 32e～34e, 36e～39e に損失を与えている。このように構成すると、ファイバレーザ装置 31 では、各ファイバレーザ 32～39 から独立して出力した場合の 8 倍弱のレーザ出力がファイバレーザ 35 から得られる。

【0046】

ファイバレーザ装置 31 によれば、 8×8 の光ファイバカプラ 40 によって八本のファイバレーザ 32～39 を結合する簡単な構成で、高出力のレーザ出力を高加算効率で得ることができる。この例では 8×8 の光ファイバカプラ 40 で 8 倍弱のレーザ出力を得る構成について説明したが、その数に限定することなく、 $N \times N$ の光ファイバカプラにより N 倍弱のレーザ出力を得ることが可能である。

【0047】

図9を参照して、コアの細径化及び近接を行う部分をカスケード接続で構成した場合のファイバレーザ装置51について説明する。図9は、コアの細径化及び近接を行う部分をカスケード接続で構成した場合の模式図である。

【0048】

ファイバレーザ装置51は、八本のファイバレーザ52～59を備えており、八本のファイバレーザ52～59のレーザ光をコヒーレント加算した出力を一本のファイバレーザから出力することができる。そのために、ファイバレーザ装置51では、第一階層として、四個の2×2の光ファイバカップラ60～63によって二本毎にファイバレーザ52～59を結合する。さらに、ファイバレーザ装置51では、第二階層として、二個の2×2の光ファイバカップラ64、65によって、コヒーレント加算されたレーザ光を出力する四本のファイバレーザ53、54、57、58を二本毎に結合する。さらに、ファイバレーザ装置51では、第三階層として、一個の2×2の光ファイバカップラ66によって、コヒーレント加算されたレーザ光を出力する二本のファイバレーザ54、57を結合する。八本のファイバレーザ52～59は、上記したファイバレーザ22、23と同様の構成を有するものとする。なお、各ファイバレーザ52～59のレーザ光の発振波長は異なってもよいが、各共振器の発振可能帯域は重なっていなければならない。また、光ファイバカップラ60～66は、上記した光ファイバカップラ28と同様の構成を有するものとする。

【0049】

また、ファイバレーザ装置51は、コヒーレント加算したレーザ光を一本のファイバレーザから出力するために、他の七本の光ファイバに段階的に損失を与えている。図9の例では、まず、第1階層でファイバレーザ53、54、57、58から出力するためにその他の四本の光ファイバ52e、55e、56e、59eに損失を与え、さらに、第二階層でファイバレーザ54、57から出力するためにその他の二本の光ファイバ53e、58eに損失を与え、第三階層でファイバレーザ54から出力するためにその他の一本の光ファイバ57eに損失を与えている。このように構成すると、ファイバレーザ装置51では、各ファイバレー

ザ52～59から独立して出力した場合の8倍弱のレーザ出力がファイバレーザ54から得られる。

【0050】

ファイバレーザ装置51によれば、7個の2×2の光ファイバカプラ60～66を用いてカスケード接続することによって、八本のファイバレーザ52～59のコヒーレント結合を実現し、高出力のレーザ出力を高加算効率で得ることができる。この例では7個の2×2の光ファイバカプラ60～66を用いて8個のファイバレーザ52～59をコヒーレント結合する構成について説明したが、その数に限定することなく、簡単な構成により多段でコヒーレント加算することができる。また、4×4や3×3の光ファイバカプラ等を用いてカスケード接続によって、多段でコヒーレント加算することも可能である。

【0051】

以上、本発明に係る実施の形態について説明したが、本発明は上記実施の形態に限定されることなく様々な形態で実施される。

【0052】

例えば、本実施の形態ではファイバレーザ装置に二本のファイバレーザを備える構成について詳細に説明したが、三本以上のファイバレーザを備えるファイバレーザ装置でも同様の作用効果を有し、多数本のファイバレーザにより高出力のレーザ光を得ることが可能となる。

【0053】

また、本実施の形態では損失として曲げ損失を与えたが、端面に処理を施す等の他の手段により損失を与えてもよい。

【0054】

また、本実施の形態ではコアの細径化部分に光ファイバカプラ、共振器としてFBGや励起光の導入にWDM結合器等を用いたが、これら構成に限定されることなく、その他の手段によって各部を構成してよい。特に、コアの細径化部分は、光ファイバカプラでなくても、ビームスプリッタであればよい。

【0055】

また、本実施の形態でレーザ活性物質としてエルビウムを用いたが、他の希土

類元素等を用いてもよい。

【0056】

また、本実施の形態では二本のファイバレーザのレーザ光の発振波長を異なる波長（1556.9nmと1557.1nm）としたが、同じ波長でもよい。異なる波長とする場合には、各共振器の発振可能帯域は重なっていなければならない。

【0057】

【発明の効果】

本発明に係るファイバレーザ装置は、コア間を近接させてコアからしみ出したレーザ光によって注入同期させるという簡単な構成で、加算効率が非常に高いレーザ間のコヒーレント加算を実現できる。また、このファイバレーザ装置は、一方のコアからしみ出したレーザ光によって他方の共振器内で注入同期を行うので、位相結合するために精密な調整を必要としない。そのため、このファイバレーザ装置は、広く産業用として実用可能である。

【0058】

さらに、本発明に係るファイバレーザ装置は、光ファイバカプラによりコアの細径化部分及びコア間の近接部分を構成することにより、装置全体を簡単に構築することができる。また、本発明に係るファイバレーザ装置は、出力をさせるファイバレーザ以外のファイバレーザのポート部に損失を印可することにより、出力先を制御でき、スイッチングが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明に係るファイバレーザ装置の概念図である。

【図2】

本発明に係るN本のファイバレーザを備えるファイバレーザ装置におけるコヒーレント加算の模式図である。

【図3】

本発明の実施の形態に係るファイバレーザ装置の構成図である。

【図4】

図3の光ファイバカプラであり、(a)は側面図であり、(b)は溶融延伸部の平面図であり、(c)は(b)のI-I線に沿った断面図である。

【図5】

図3のファイバレーザ装置の出力スペクトルを示す図である。

【図6】

Yモードによる出力パターンを示す図であり、(a)はポートAから出力する場合であり、(b)はポートBから出力する場合である。

【図7】

図3のファイバレーザ装置においてポートAに印可する損失を変えた場合のポートA及びポートBの出力の変化を示す図である。

【図8】

本発明に係るコアの細径化及び近接を行う部分を一体型ファイバカプラで構成した場合のファイバレーザ装置の模式図である。

【図9】

本発明に係るコアの細径化及び近接を行う部分をカスケード接続で構成した場合の模式図である。

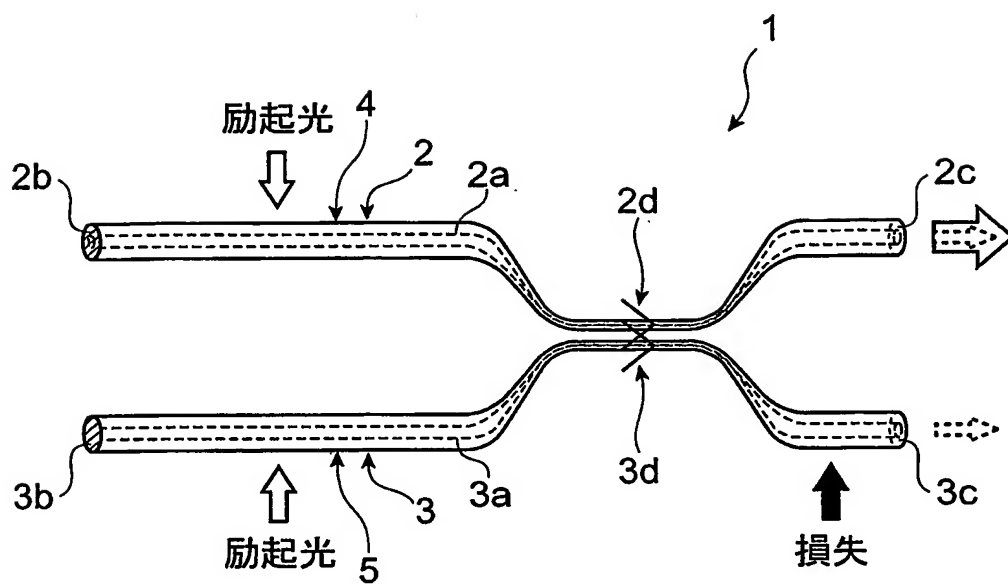
【符号の説明】

1, 11, 21, 31, 51…ファイバレーザ装置、2, 3, 12, 22, 23, 32~39, 52~59…ファイバレーザ、2a, 3a, 22a, 23a…コア、2b, 3b, 22b, 23b…一端部、2c, 3c, 22c, 23c…他端部、2d, 3d, 22d, 23d…中間部、22e, 23e, 32e~39e、52e~59e…光ファイバ、22f, 23f…クラッド、4, 5, 24, 25…共振器、24a, 25a…ファイバ回折格子、24b, 25b…反射端面、26, 27…WDM結合器、28, 40, 60~66…光ファイバカプラ、28a…溶融延伸部、28b…サブストレート、28c…インバー、28d…シール材、29…曲げ損失部、30…偏波制御器

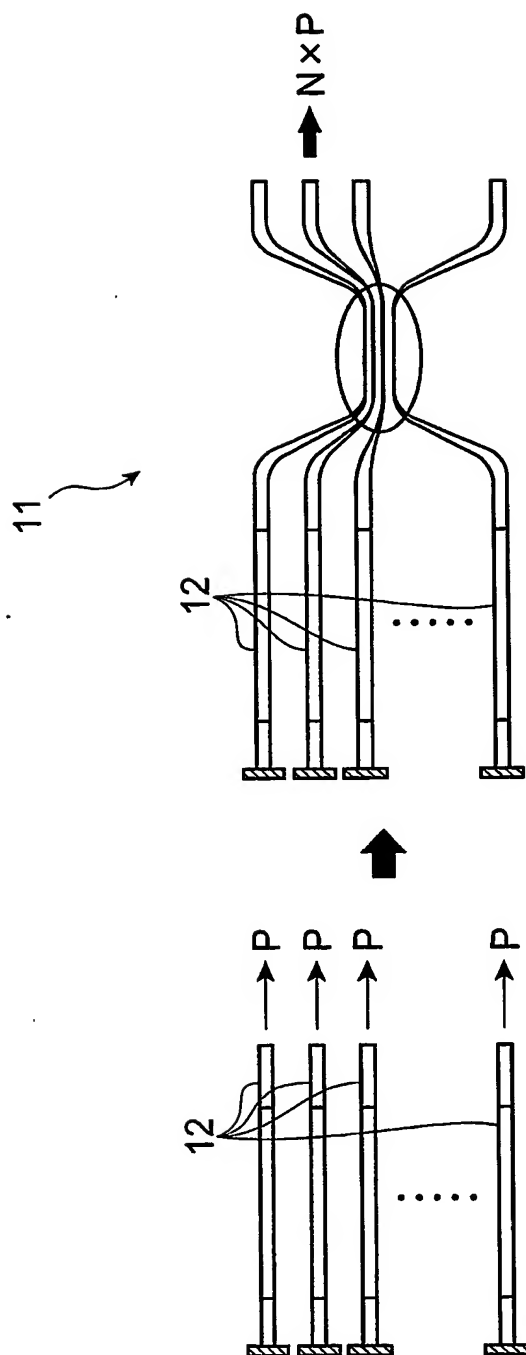
【書類名】

図面

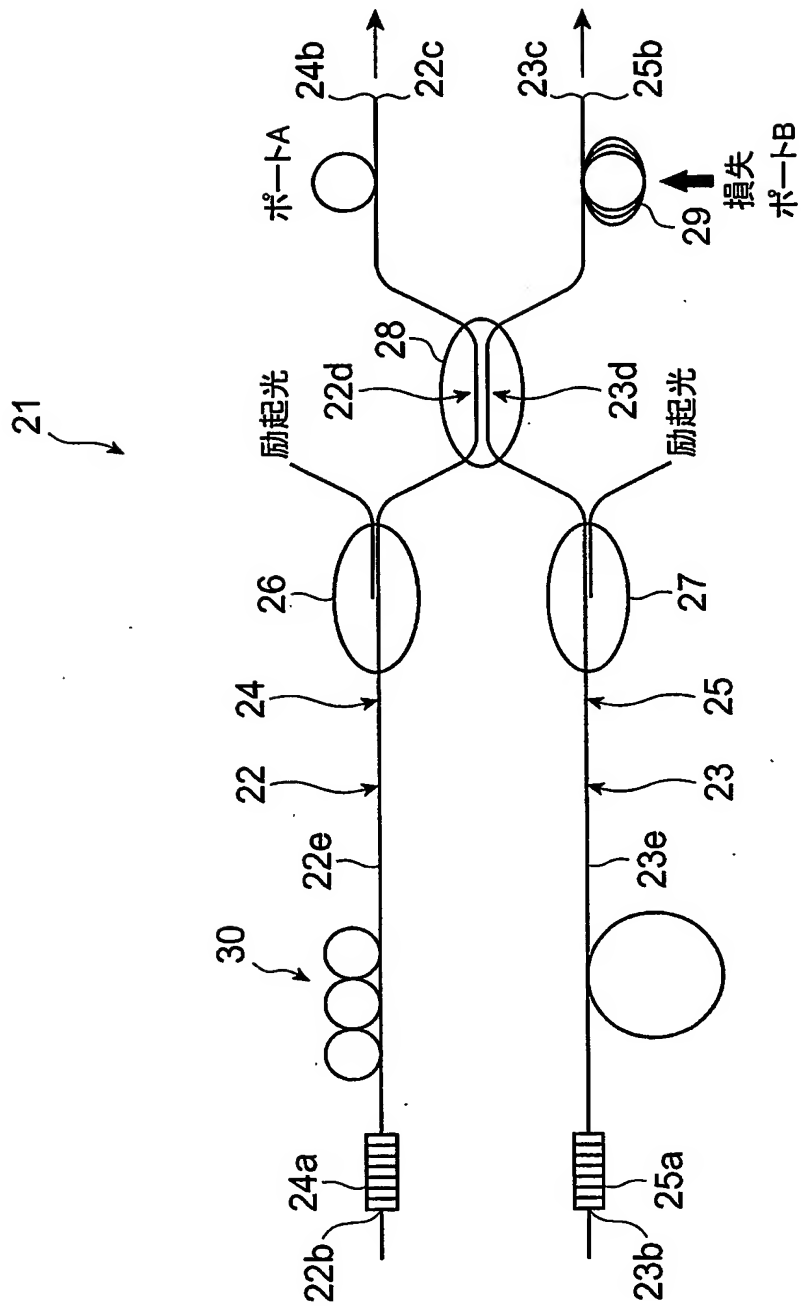
【図 1】



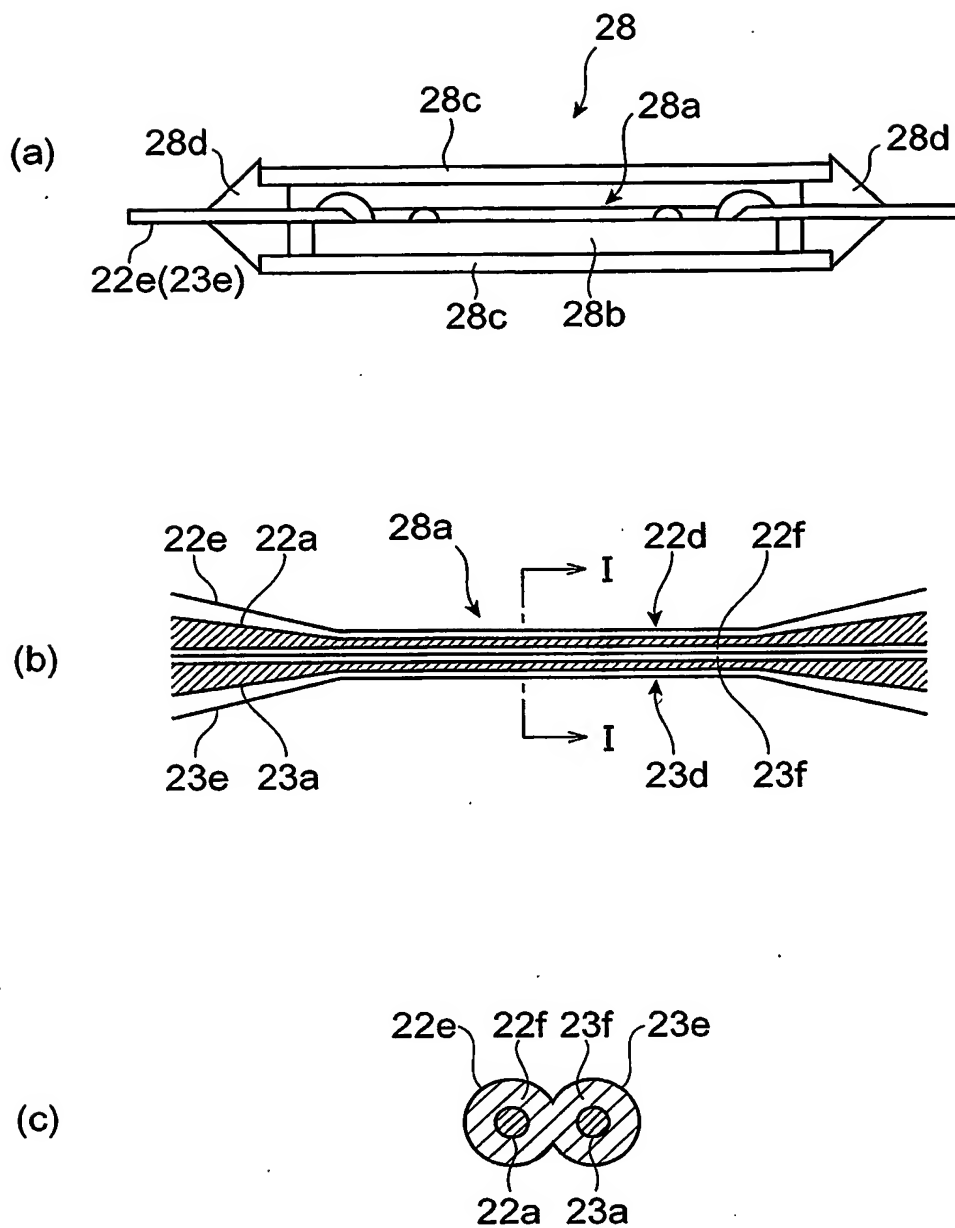
【図 2】



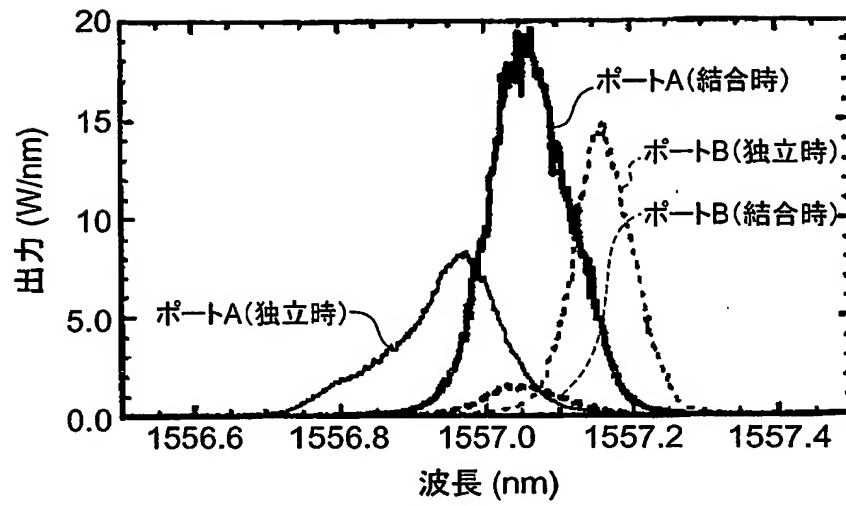
【図 3】



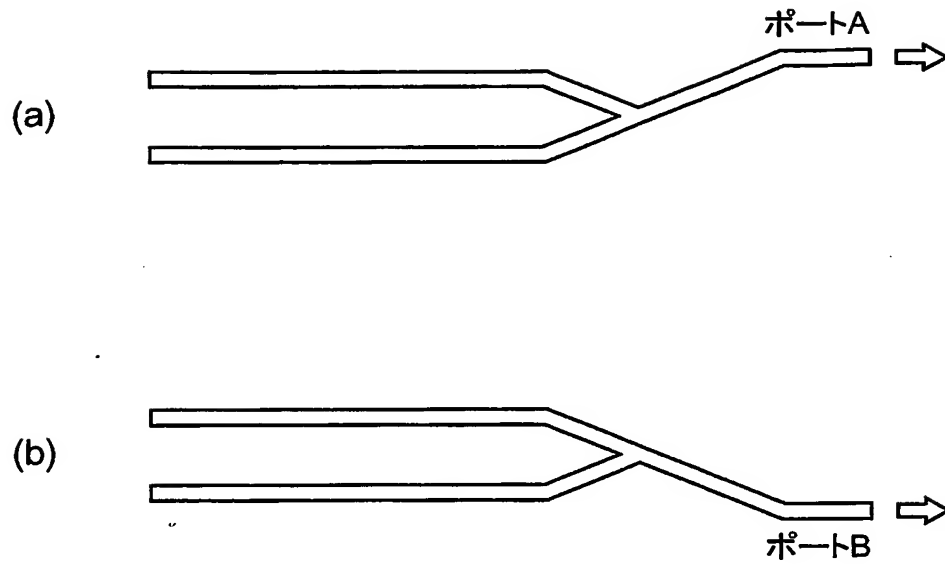
【図 4】



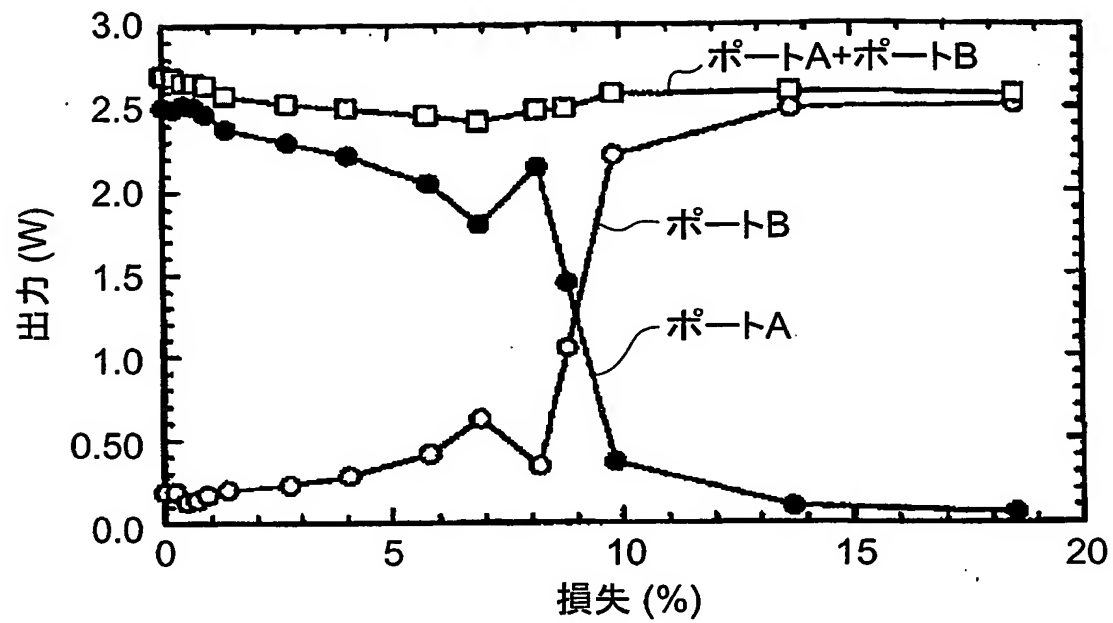
【図 5】



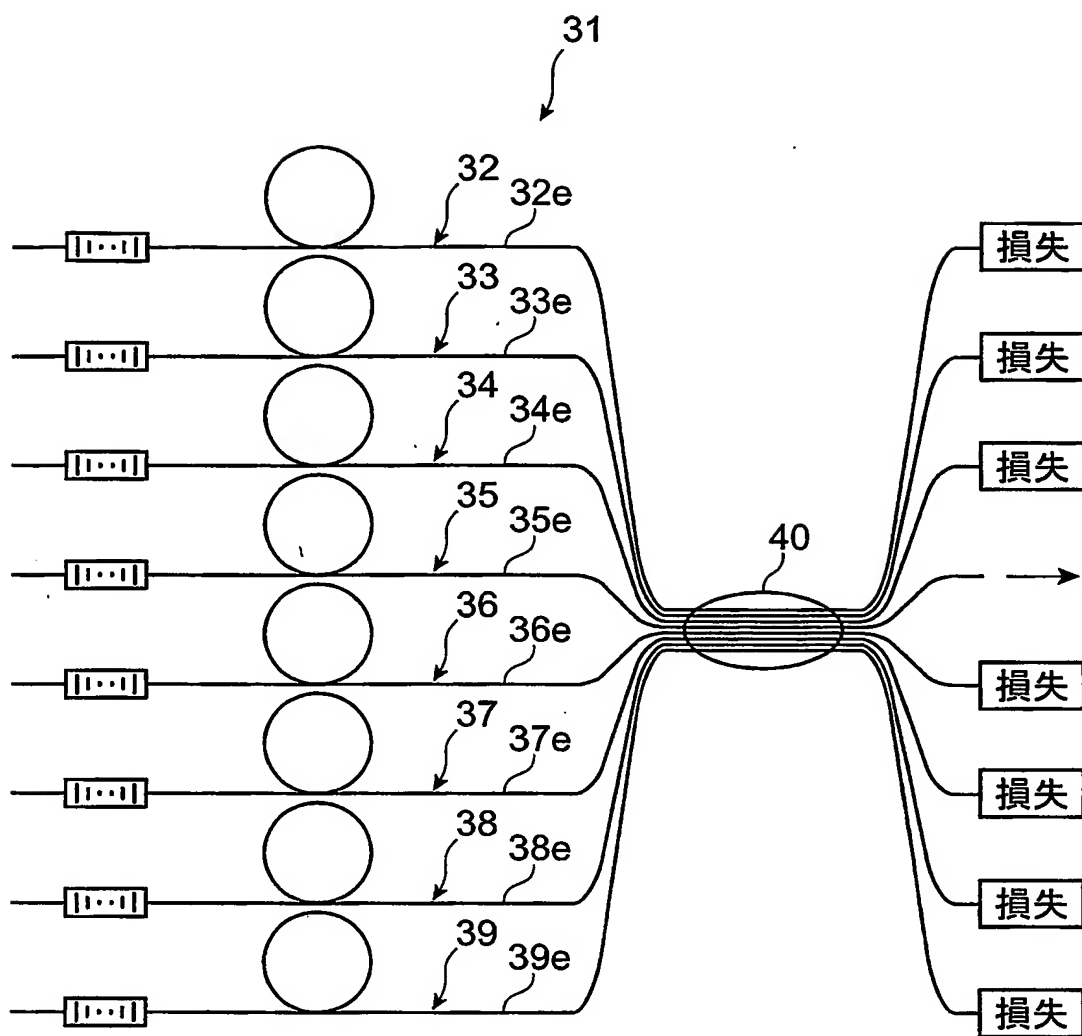
【図 6】



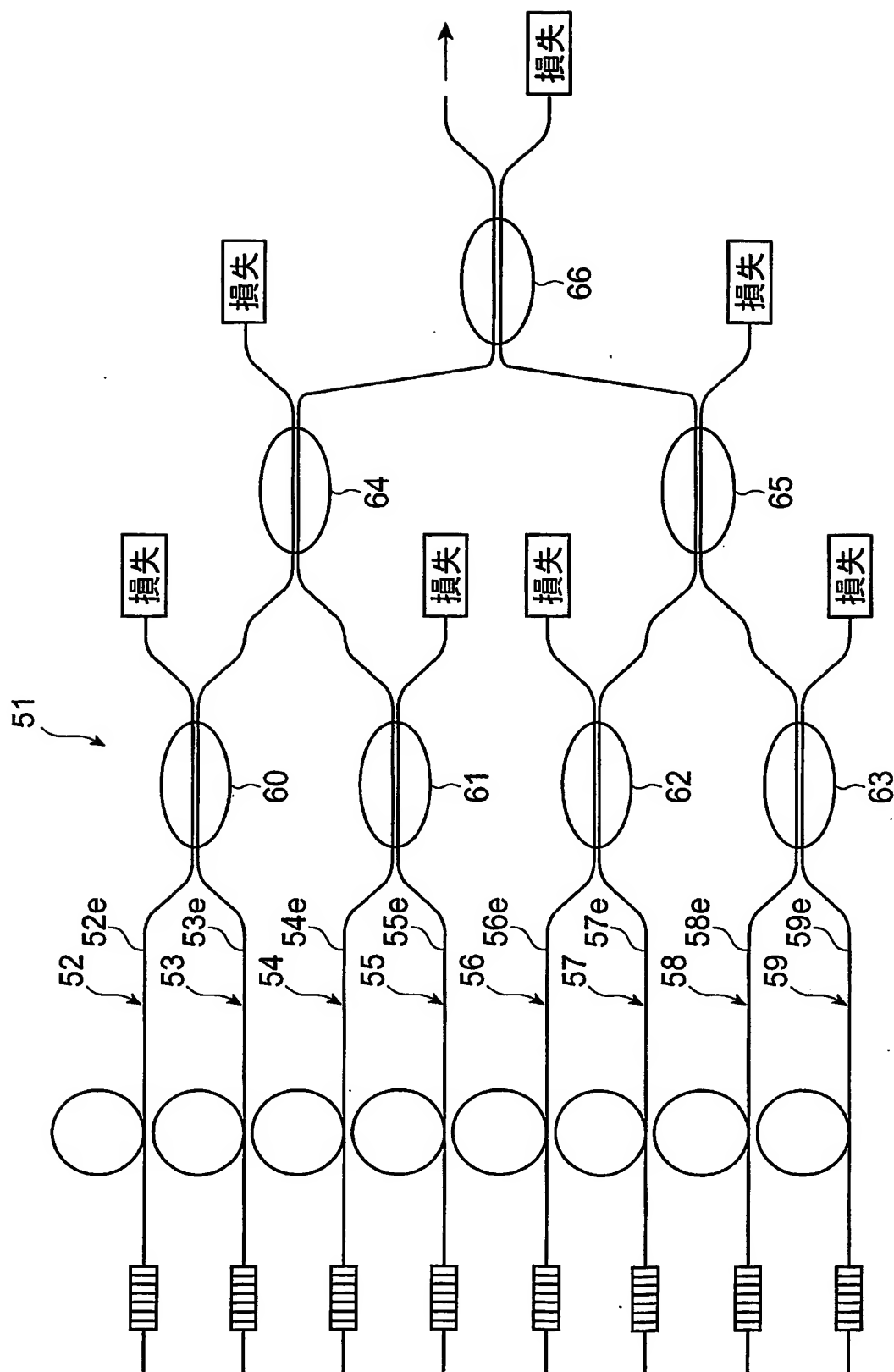
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 コヒーレント加算による加算効率に優れるファイバレーザ装置を提供することを課題とする。

【解決手段】 コア 2 a, 3 a 内のレーザ活性物質を励起光で励起してレーザ光を発生し、コア 2 a, 3 a 内にレーザ光を伝播して端部 2 c, 3 c より出力するファイバレーザ 2, 3 を複数本備えるファイバレーザ装置 1 であって、各ファイバレーザ 2, 3 は、両端部 2 b, 2 c, 3 b, 3 c においてレーザ光を反射する共振器 4, 5 構造を有するとともにコア 2 a, 3 a の一部を細径化した構造を有し、各コア 2 a, 3 a の細径化部分を近接し、コア 2 a, 3 a 内から出たレーザ光により共振器 4, 5 内で注入同期を行うことを特徴とする。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 1 8 1 8 2 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 2 3 6 4 3 6]

1. 変更年月日
[変更理由]
住 所
氏 名

1 9 9 0 年 8 月 1 0 日
新規登録
静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1
浜松ホトニクス株式会社

特願 2002-181821

出願人履歴情報

識別番号

[598162023]

1. 変更年月日

1998年11月25日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都調布市小島町1-1-1 RA310

氏 名

植田 憲一

特願 2002-181821

出願人履歴情報

識別番号

[502225534]

1. 変更年月日

2002年 6月21日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都調布市小島町1-1-1 RC207

氏 名

白川 晃